

EFEECTO DE LA APLICACIÓN DEL LODO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS EN ARGISUELO ROJO-AMARILLO CULTIVADO CON PLÁTANO (*Musa spp*).

Sarai de Alcântara¹, Luiz A. S. Melo², Daniel Vidal Pérez³, Neli do A. Meneguelli³, Fernando Pessanha Feitosa¹, Gabriel da Silva Azevedo Jorge¹.

¹Instituto de Química/UF RJ, Av. Brig. Trompovsky, s/n°, Cidade Universitária, CEP 21949-900, Rio de Janeiro (RJ, Brasil); ²Embrapa Meio Ambiente, Caixa Postal 69, CEP: 13820-000, Jaguariúna (SP, Brasil); ³Embrapa Solos, R. Jardim Botânico, 1024, CEP: 22460-000, Rio de Janeiro (RJ, Brasil). < sarai@iq.ufj.br >

*Effect of the application of sewage sludge on an Ultis soil cultivated with banana (*Musa spp.*)*

Abstract

The need for solutions that minimize negative environmental impacts, generated by anthropogenic activities, has been increasing. Sewage sludge (SS) has predominantly organic composition and can improve soil characteristics, such as fertility and erosion resistance. Therefore, its application as an amendment for agriculture could be an adequate alternative for its final disposal. However, there is a lack of information concerning SS application in tropical soil, mainly related to the presence of heavy metals that can represent a restriction for soil application. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of different rates of SS application: (i) on some chemical properties of a Brazilian soil; (ii) on the potential accumulation of some heavy metals (Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Cd, Co, Ni, Pb) in that soil. The experiment started in 2000 in a Research Station (Embrapa-Meio Ambiente) located in the state of São Paulo (Jaguariúna County). The experimental field design was a randomized block. The treatment consisted of a conventional tillage management of banana (NPK) and three rates of SS application based on its N content (N/2, N, 2N) and five blocks. The soil samples were collected in the depth of 0-20, 20-40 and 40-60cm on November 2005. Apart from increasing levels of most heavy metals analyzed by simple extraction (Mehlich I and DTPA), amending the soil with SS also improve organic matter content and the cation exchange capacity (CEC) in the 0-20cm layer. Evidences of heavy metal translocation with depth were found until 60cm when using Mehlich I extraction. No significant differences were found in depth when DTPA extraction was used, except for Cu. Despite the few years of the SS application, the study indicated that there is a potential risk of pollution of the soil-water-plant system through the intensive use of this kind of material. This emphasizes the need for long-term experiments.

Key words: Soil chemical properties, trace metals, heavy metals

Introducción.

En las últimas décadas, con la intención de disminuir la contaminación de ríos y mares, se empezó el tratamiento de las aguas negras, resultando en la producción de un lodo rico en materia orgánica y nutrientes, conocido como biosólido, que necesit

de una adecuada disposición final. Entre las distintas alternativas existentes para la disposición de este material, aquella para fines agrícolas presentase como una de las más convenientes (Oshins, 1995). Todavía, dependiendo de su origen, el lodo puede ser rico en metales tóxicos (Bettiol & Camargo, 2000). En algunos países de Europa y de América del Norte, el uso agrícola de este tipo de lodo es demasiado difundido, pero la contaminación del suelo por metales tóxicos ha generado preocupaciones. En Brasil, existe la misma preocupación, pero son escasas las informaciones sobre la dinámica de metales tóxicos en suelos donde el lodo es aplicado (Bettiol & Camargo, 2000).

La forma de enlace en la fase sólida esta relacionada con la intensidad de liberación del metal para la fase líquida, así como para su remobilización (Sposito, 1989; Tack and Verloo, 1995). La complejidad de las posibles reacciones en el suelo restringe, entonces, los estudios sobre distribuciones de las especies metálicas en fase sólida, generalmente, a procedimientos analíticos operacionalmente definidos, siendo, normalmente, aplicadas técnicas de extracción secuencial (Morrow et al., 1996). Sin embargo, normalmente, estos esquemas de fraccionamiento son muy lentos y sujetos a una serie de problemas (Morrow et al., 1996; Camargo et al., 2001). El uso de un extractor único para estimar la biodisponibilidad de cierto elemento químico en el suelo es muy común en estudios de fertilidad y ha sido, también, aplicado a estudios de contaminación (Ferreira et al., 2001; Abreu et al., 2005). Alcantara et al. (2005) hicieron estudios donde relacionaban ambos procedimientos, encontrando fuerte correlación entre las fracciones más disponibles del suelo, ligadas a la CCC y a la materia orgánica, por la extracción secuencial, con los resultados obtenidos por la extracción con la solución de Mehlich 1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol.L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025 \text{ mol.L}^{-1}$) y DTPA.

Se eligió, para esta investigación, el cultivo de plátano basándose en su posición de destaque en Brasil, que es el segundo productor mundial de esta fruta. En la región sudeste de dicho país, su participación en la producción ha ocupado la 5ª posición después de los cultivos de café, caña de azúcar, naranja y maíz (Vicente et al., 2001). En toda la Provincia de S. Paulo se cultiva en grande o pequeña escala (Moreira, 1999), concentrándose la producción en el litoral y vecino al Valle de Ribeira. Prácticamente no existen estudios sobre el uso del lodo originado del tratamiento de las aguas negras utilizando este cultivo. Se logró encontrar solamente el trabajo de Darwish et al. (1997), que relata resultados de bajas concentraciones de metales tóxicos (abajo de los límites de tolerancia) en hojas y frutos del platanero, nueve meses después de la aplicación del lodo.

Es, por tanto, objetivo de este trabajo: i) evaluar el impacto del uso del lodo en las principales características química del suelo; ii) estudiar el impacto causado por el uso agrícola del lodo de aguas negras en las concentraciones de los elementos Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Co, Cr y Pb determinados por dos procedimientos de extracción simples más usados en Brasil (DTPA y Mehlich 1).

Materiales y métodos.

El muestreo se hizo desde un experimento instalado en campo experimental de Embrapa-Medio Ambiente, ubicado en Jaguariúna (São Paulo, Brasil), latitud 22°41' Sur, longitud 47° W. Gr. y altitud de 570 m, en Argisuelo Rojo- Amarillo. El experimento empezó en Noviembre de 2000, con la plantación de pequeños árboles de plátano del invernadero Grande Naine producidos en laboratorio, en un espacio de 2,0 m X 2.5 m. El planeamiento experimental utilizado fue el de bloques al azar, con cuatro tratamientos y cinco réplicas. Los tratamientos fueron: 1- Testigo convencional (NPK). 2- lodo suficiente para suministrar la misma cantidad de N usada en el testigo convencional (N). 3- lodo suficiente para la mitad de nitrógeno usado en el testigo convencional (N/2). 4- el doble de nitrógeno (2N). Dos tipos de lodo fueron aplicados: en 2000 y 2002 se utilizó un lodo originario de la región de Parueri (SP), típicamente industrial; en 2005 se aplicó un lodo originario de la ciudad de Jundiá (SP), que puede ser considerado de procedencia doméstica. En la tabla 1 se encuentran algunas características del lodo utilizado. En los tratamientos con lodo, se hizo corrección de K con KCl.

	pH	C Org	N	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb
				g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹				
2000	5,90	292,9	38,5	0,219	26,6	2,46	0,746	0,625	336,0	6,7	78,5
2002	6,02	228,1	40,4	0,229	29,0	2,88	0,758	0,611	294,0	14,1	159,5
2005	5,10	263,8	25,4	0,494	19,5	0,77	0,575	0,141	28,9	13,3	163,0

Tabla 1 - Algunos resultados medios de las características químicas de los lodos utilizados

En el experimento, la cantidad de lodo relacionada a cada tratamiento fue aplicada en el área de plantación y calculada por análisis del suelo. En la fase plantación-formación se hizo una aplicación de residuos sólidos de la actividad pecuaria en el testimonio convencional además de fósforo (superfosfato simple). Se hizo, a los noventa días de cultivo, una cobertura con P y tres coberturas con NK (urea y cloruro de potasio) a los 40, 90 y 150 días de plantío. En los tratamientos con lodo, el K ha sido aplicado por dos veces, a los 90 y 150 días. En la fase de producción, a partir del fin de la primera cosecha (Abril/Mayo de 2002), las aplicaciones del abono mineral (tratamiento NPK) fueron anuales (en Octubre) y la aplicación del lodo fue en Octubre de 2002 y, después, en Marzo de 2005.

Las formas «disponibles» de los metales estudiados, en el suelo, fueron obtenidas por extracción con solución de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol.L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol.L⁻¹) y DTPA (pH 7,3) de acuerdo con Embrapa (1997), siendo realizadas las determinaciones analíticas por espectrometría de emisión por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES, PE OPTIMA 3000). Las determinaciones de pH (agua), de la capacidad de cambio catiónica (CCC), de C orgánico, de P «asimilable» (extraído por solución de Mehlich 1) fueron realizadas, también, de acuerdo con el manual

de metodologías de análisis de suelos (Embrapa, 1997). El muestreo se hizo en Noviembre de 2005, siendo las profundidades de muestreo de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Los datos obtenidos fueron analizados, estadísticamente, usándose el Proc GLM do Statistical Analysis System (SAS, 1999). Para los resultados significativos encontrados por el test F, se aplicó el test de Tukey, a nivel de 5% de probabilidad, con la finalidad de clasificar las medias de tratamientos. En algunos casos, se usó la transformación raíz cuadrada de $(x+1)$ tratando de homogeneizar los datos cuando la razón entre el mayor y el menor valor de la variable a ser analizada presentó un resultado superior a 20, en conformidad con Fernández (1992).

Resultados y discusión.

En la Tabla 2 se encuentran los resultados de las características químicas del suelo después de la aplicación de los tratamientos con el lodo.

Tratamiento	pH	CCC	P	C.Org.
		cmolc.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹
0-20 cm				
NPK	5,04 a	7,1 ab	47 ab	11,0 b
Lodo (N/2)	5,26 a	6,8 b	21 b	11,7 b
Lodo (N)	5,04 a	8,7 ab	65 ab	14,9 ab
Lodo (2N)	5,02 a	9,3 a	151 a	16,6 a
20-40 cm				
NPK	5,28 a	5,8 a	5 a	6,4 ab
Lodo (N/2)	5,02 a	5,4 a	1 a	6,0 b
Lodo (N)	5,20 a	5,4 a	2 a	6,4 ab
Lodo (2N)	5,14 a	5,5 a	4 a	6,5 a
40-60 cm				
NPK	5,22 a	4,6 a	1 a	5,1 a
Lodo (N/2)	5,08 a	4,4 a	1 a	4,8 a
Lodo (N)	5,22 a	4,8 a	1 a	5,0 a
Lodo (2N)	5,14 a	4,7 a	1 a	5,1 a

Tabla 2. Resultados de pH, capacidad de cambio catiónico (CCC), P extraído por solución de Mehlich 1(P) y de C orgánico del suelo sometido a los tratamientos de lodo

Letras minúsculas distintas en la misma columna representan diferencia significativa ($P < 0,05$) con el test de Tukey

En general, después de 5 años de utilización del lodo, algunas alteraciones se pueden observar, notablemente, en la capa superficial (0-20 cm). Como esperado, la cantidad de materia orgánica, medido indirectamente por la cantidad de carbono orgánico, creció significativamente juntamente con el aumento de las dosis de lodo.

Esta alteración presentó reflejos directos en la CCC del suelo, una vez que los coloides orgánicos tienen altas cantidades de cargas superficiales negativas. Así, el fósforo, conocidamente asociado a materia orgánica, también tuvo su concentración aumentada cuando se aplicaron mayores dosis de lodo.

En cuanto a los metales estudiados, tanto la extracción con la solución de Mehlich como con DTPA, indicaron significativos aumentos relacionados con el aumento de la dosis de lodo aplicada, excepto para el Pb. En las tablas 3 y 4 se presentan los resultados de este estudio.

Tratamiento	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Cd	Pb
mg/kg									
0-20 cm									
NPK	15,97 b	19,70 b	3,60 c	0,85 c	0,03 b	0,16 c	0,11 c	0,006 c	0,36 ab
Lodo (N/2)	18,03 ab	51,87 ab	34,96 b	7,21 bc	0,43 ab	0,19 bc	2,45 bc	0,150 bc	0,50 a
Lodo (N)	19,04 ab	72,73 a	66,72 ab	12,79 ab	0,74 a	0,23 ab	5,01 ab	0,274 ab	0,32 ab
Lodo (2N)	22,82 a	83,00 a	105,82 a	19,23 a	0,99 a	0,27 a	8,03 a	0,416 a	0,17 b
20-40cm									
NPK	6,15 a	12,45 b	0,82 c	0,63 b	0,03 b	0,07 b	0,02 b	< LD	0,65 a
Lodo (N/2)	5,09 a	14,27 ab	4,93 bc	1,00 b	0,05 b	0,08 ab	0,34 b	0,018 bc	1,55 a
Lodo (N)	6,33 a	21,52 ab	11,41 ab	1,66 ab	0,11 ab	0,10 ab	0,82 ab	0,034 ab	1,27 a
Lodo (2N)	8,07 a	23,36 a	20,69 a	2,25 a	0,14 a	0,12 a	1,70 a	0,054 a	1,03 a
40-60cm									
NPK	2,76 a	10,65 c	0,77 b	0,57 c	0,03 b	0,04 a	0,04 a	0,002 b	2,13 a
Lodo (N/2)	3,11 a	11,05 bc	0,87 b	0,63 bc	0,04 ab	0,05 a	0,05 a	< LD	1,84 a
Lodo (N)	4,01 a	15,20 ab	3,49 ab	0,96 ab	0,06 ab	0,07 a	0,19 a	0,012 ab	2,00 a
Lodo (2N)	3,22 a	15,58 a	5,38 a	1,09 a	0,07 a	0,07 a	0,33 a	0,014 a	1,78 a

Datos de Zn, Cu, Cr, Ni, Cd y Pb transformados por $\sqrt{X + 1}$. Letras minúsculas distintas en la misma columna representan diferencia significativa ($P < 0,05$) con el test de Tukey.

Tabla 3.- Resultados de la extracción simple de metales tóxicos con solución de Mehlich 1 para las muestras colectadas en Noviembre de 2005

Tratamiento	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Cd	Pb
mg/kg									
0-20 cm									
NPK	12,52 a	39,70 b	3,06 c	1,27 c	< LD	0,13 a	0,11 c	0,008 b	2,43 a
Lodo (N/2)	15,53 a	84,96 ab	26,54 b	7,43 b	0,010 a	0,19 a	2,19 bc	0,098 ab	2,93 a
Lodo (N)	15,33 a	103,63 ab	43,99 ab	10,97 ab	0,010 a	0,21 a	3,75 ab	0,146 a	2,80 a
Lodo (2N)	17,71 a	126,81 a	54,56 a	16,33 a	0,012 a	0,23 a	5,62 a	0,208 a	2,63 a
CV	27	40	29	23	1	2	22	3	8
20-40cm									
NPK	4,14 a	15,15 ab	0,50 c	0,53 b	< LD	0,01 a	< LD	< LD	2,15 a
Lodo (N/2)	3,01 a	13,19 b	3,19 bc	0,65 b	< LD	0,03 a	0,25 b	0,004 b	1,98 a
Lodo (N)	3,62 a	19,52 ab	7,77 ab	1,19 ab	< LD	0,03 a	0,65 ab	0,014 ab	1,97 a
Lodo (2N)	5,86 a	24,58 a	14,49 a	1,73 a	< LD	0,08 a	1,32 a	0,028 a	2,28 a
CV	53	31	32	12	-----	2	14	1	4
40-60cm									
NPK	1,18 a	6,14 a	0,41 a	0,26 b	< LD	< LD	0,02 a	< LD	1,62 a
Lodo (N/2)	1,32 a	6,35 a	0,42 a	0,32 ab	< LD	< LD	< LD	< LD	1,60 a
Lodo (N)	1,74 a	8,65 a	1,74 a	0,49 ab	< LD	< LD	0,08 a	0,002 a	1,56 a
Lodo (2N)	1,54 a	9,40 a	2,92 a	0,53 a	< LD	0,024	0,21 a	0,006 a	1,64 a
CV	28	27	27	5	-----	1	6	1	3

Datos de Zn, Cu, Cr, Ni, Cd, Pb y Co transformados por $\sqrt{X + 1}$. Letras minúsculas distintas en la misma columna representan diferencia significativa ($P < 0,05$) con el test de Tukey

Tabla 4.- Resultados de la extracción simple de metales tóxicos con solución de DTPA para las muestras colectadas en Noviembre de 2005

La extracción con Mehlich 1 presentó, también, resultados similares en las profundidades de 20-40 cm y 40-60 cm. Pero, con el DTPA (Tabla 4) solo se observan incrementos significativos para los metales estudiados hasta la profundidad de 20-40 cm. En la profundidad de 40-60 cm, solamente la variación del Cu fue significativa en relación a las dosis de lodo aplicadas.

Extractantes débilmente ácidos, como Mehlich 1, pueden extraer metales de las fases enlazadas a carbonatos/sulfuros, óxidos de Mn/Fe y de complejos orgánicos (Morrow et al., 1996). Con relación al DTPA, su acción se da, principalmente, por formación de complejos.

Conclusiones.

Bajo el punto de vista de la fertilidad, los datos obtenidos sugieren que la aplicación del lodo puede ser considerada benéfica para el suelo. Todavía, cuando se observa el comportamiento de ciertos metales trazas extraídos, principalmente, con la posibilidad de movilización en el suelo, es necesario considerar el riesgo ambiental de contaminación de las aguas subsuperficiales.

Agradecimiento.

A FAPERJ, CNPq, FUJB por el apoyo financiero.

Bibliografía:

ABREU, C.A. de; van RAIJ, B.; ABREU, M.F. de; GONZÁLEZ, A.P. Routine soil testing to monitor heavy metals and boron. *Scientia Agricola*, 62(6): 564-571. 2005.

ALCANTARA, S.; PÉREZ, D.V.; MENEGUELLI, N. do A.; SILVA, G.M. da; ALMEIDA, M.R.A. de; BOEIRA, R.C. Efecto del uso del lodo generado en el tratamiento de las aguas negras en la acumulación de Fe, Mn, Ni, Zn, Cu e Cr en maíz (*Zea mays*, L.). *Revista Cubana de Química*, 17(3): 78-85, 2005.

BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. 312 p. 2000.

CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. Reação de micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. de; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. de. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS. 2001. p.89-124.

DARWISH, O. H.; AHMED, F.F.; MOHAMED, G.A. Fate of heavy elements in sludge when applied to fruit trees. *Alex. J. Agric. Res.*, v.42, n.1, p.159-169, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. In: Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. 212p.

FERNANDEZ, G. C. J. Residual analysis and data transformations – Important tools in statistical analysis. *Hotscience*, v.27, n. 4, p. 297-300, April, 1992.

FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. de; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. de. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS. 2001. 600p.

MOREIRA, R.S. Banana: teoria e prática de cultivo. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill. 1999. CD – Rom.

MORROW, D.A.; GINTAUTAS, P.A.; WEISS, A.D.; PIWONI, M.D.; BRICKA, R.M. Metals speciation in soils: a review. Vicksburg: U.S. Army Corps of Engineer. 1996. 108p. (Technical report, IRRP-96-5).

OSHINS, C. 1995. Strategies for encouraging the use of organic wastes in agriculture. In: D.L. Karlem; R.J. Wright; W.O. Kemper (Eds.), *Agriculture utilization of urban and industrial by-products*. ASA/CSSSA/SSSA, Madison, WI, pp.73-86.

SAS. 1999. SAS System for Windows, v.8. SAS Institute Inc., Cary, NC; CD-ROM.

SPOSITO, G. In: *The chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1989. p.3-21.

TACK, F.M.G. and VERLOO, M.G. Chemical speciation and fractionation in soil and sediment heavy metal analysis: a review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 59:225-238, 1995.

VICENTE, J.R.; ANEFALOS, L.C.; CASER, D.V. Participação de culturas no valor da produção e de fatores de produção em componentes do custo total, 1970 - 95. *Informações Econômicas*, SP, v.31, n.8, p.33-39, 2001.